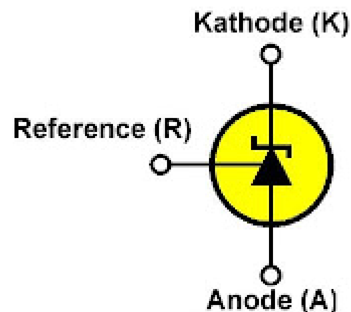
Shunt-stabilisatoren

Als u een regelbare referentiespanning nodig hebt is een shunt stabilisator het ideale onderdeel. Deze componenten zijn nauwkeurig en bovendien geschikt voor het stabiliseren van voedingsspanning bij belastingen tot ongeveer 100 mA.

Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl
Publicatiedatum: 25-05-2020

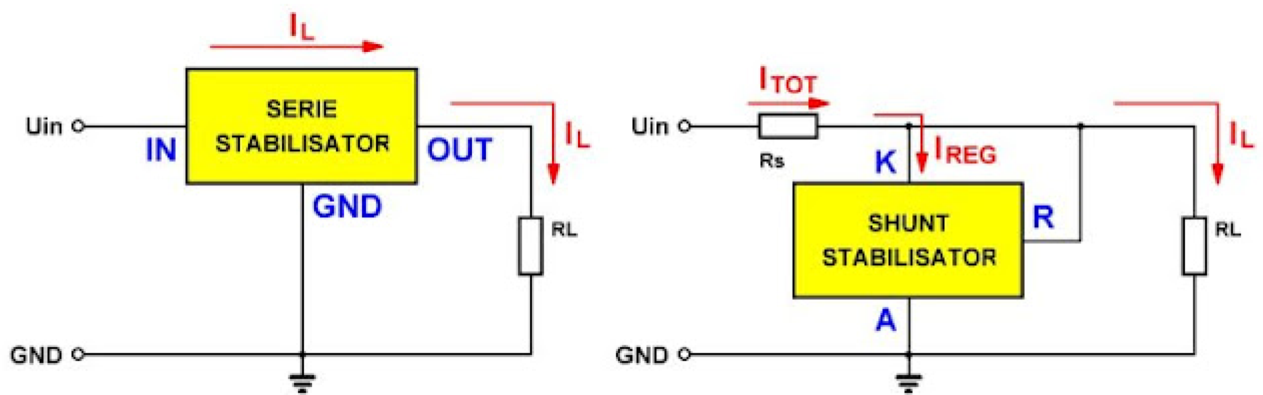
Kennismaking met shunt stabilisatoren

Inleiding
Shunt stabilisatoren, ook wel eens programmeerbare zenerdioden genoemd, worden voorgesteld door het symbool van de onderstaande figuur. Deze onderdelen hebben drie aansluitingen waarvan twee naar analogie met een zenerdiode kathode en anode worden genoemd en de derde met de naam reference of ADJ door het leven gaat. Net zoals zenerdioden worden shunt stabilisatoren invers gepolariseerd, dus kathode positief ten opzicht van de anode, en via een voorschakelweerstand met een voedingsspanning verbonden.



Het symbool van een shunt stabilisator.
(© 2020 Jos Verstraten)

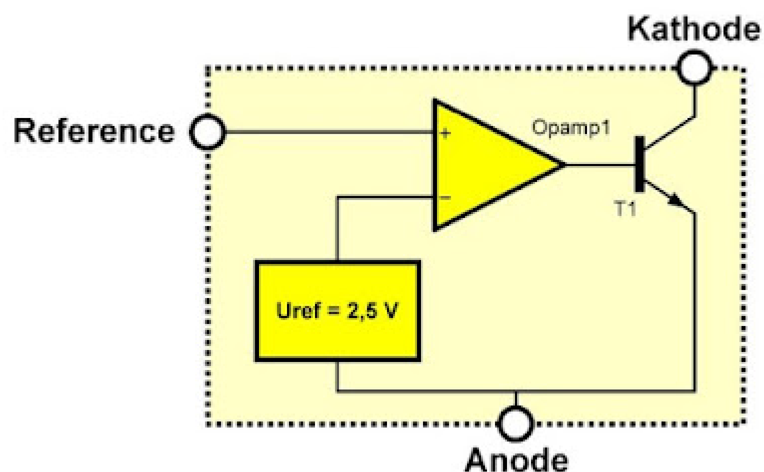
Het verschil met een serie stabilisator
In de onderstaande figuur wordt het fundamentele onderscheid tussen de werking van een normale serie stabilisator en deze van een shunt stabilisator verduidelijkt. Bij een serie stabilisator staat de eigenlijke stabilisator in serie met de belasting R_L en deze serieschakeling is verbonden met de ongestabiliseerde spanning. De volledige belastingsstroom I_L vloeit door de stabilisator en dit element zal zijn inwendige weerstand zo aanpassen dat de door de stroom I_L opgewekte spanningsval gelijk is aan het verschil tussen de constante uitgangsspanning en de ongestabiliseerde ingangsspanning.
Bij de shunt stabilisator herkent u ook een serieschakeling, maar nu staat er een vaste weerstand R_s in serie met de belasting en wordt de stabilisator parallel geschakeld over de belasting R_L. Door de weerstand R_s vloeit nu een stroom I_{TOT}, gelijk aan de som van de belastingsstroom I_L en de stabilisatorstroom I_{REG}. Als I_L daalt zal I_{REG} proportioneel stijgen, waardoor de somstroom I_{TOT} constant blijft en dus ook de spanningsval over R_s.
U kunt dus in het algemeen stellen dat een shunt stabilisator via de R-aansluiting de grootte van de uitgangsspanning detecteert en zijn stroom I_{REG} zo instelt dat de spanning over de belasting constant blijft.



Vergelijking van een serie met een shunt stabilisator. (© 2020 Jos Verstraten)

Beperking van het principe
Uit deze fundamentele werking volgt onmiddellijk dat shunt stabilisatoren niet geschikt zijn voor gebruik in voedingen die veel stroom moeten leveren. De grote stroom zou over de serieweerstand R_s een grote spanningsval veroorzaken, met alle nadelige gevolgen van dien zoals veel thermisch vermogensverlies en de noodzaak om een hoge ongestabiliseerde spanning te gebruiken.
Shunt stabilisatoren worden dan ook uitsluitend toegepast in schakelingen waarin men een regelbare referentiespanning nodig heeft. De maximale I_{REG} bedraagt voor de meeste types ongeveer 100 mA.

Het intern blokschema
Het intern blokschema van een standaard shunt stabilisator is getekend in de onderstaande figuur. Het IC is opgebouwd uit een spanningsreferentie (meestal rond 2,5 V), een operationele versterker en een eindtrap. De referentiespanning ontstaat over een bandgap diode. Deze levert een zeer stabiele spanning. De kathode van het element (de collector van de transistor) wordt via een weerstand verbonden met een positieve spanning. Als u de R-ingang rechtstreeks met de kathode verbindt ontstaat een teruggekoppeld geheel, waarbij de op-amp het spanningsverschil tussen zijn ingangen tot nul regelt. In deze situatie zal de spanning op de kathode gelijk worden aan de spanning van de referentie. Iedere afwijking heeft tot gevolg dat de op-amp de transistor meer of minder in geleiding stuurt, waardoor de stroom door de transistor toe- of afneemt. De transistor vormt dus met de extern aan te brengen voorschakelweerstand een weerstandsdeler die ervoor zorgt dat de spanning op de kathode-aansluiting constant blijft.
Sluit u de R-ingang aan op een spanningsdeler tussen de kathode en de anode, dan ontstaat een teruggekoppelde versterker en de spanning op de kathode wordt dan bepaald door de verhouding tussen de twee weerstanden van deze spanningsdeler.



Intern blokschema van een shunt stabilisator. (© 2020 Jos Verstraten)

Eigenschappen van shunt stabilisatoren

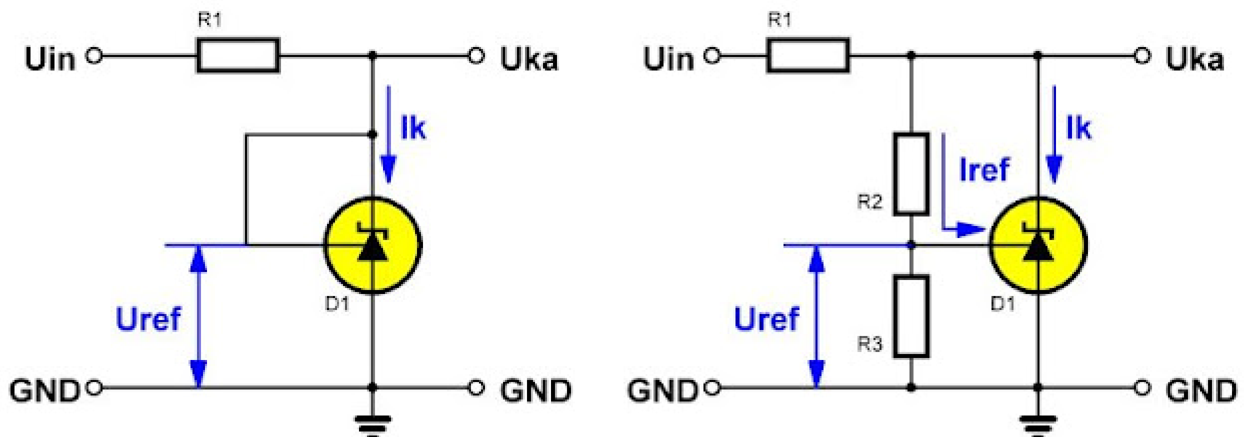
De spanningsreferentie
De spanning van de ingebouwde spanningsreferentie noemt men de '*reverse breakdown voltage*' U_{ref}. Bij de specificaties wordt de minimale en maximale waarde van deze spanning opgegeven en de temperatuurscoëfficiënt. Deze U_{ref} bepaalt de minimale waarde van de instelbare uitgangsspanning (R aan K).
Als tweede belangrijke specificatíe wordt de verandering van deze grootheid in functie van de stroom die door het onderdeel vloeit gegeven. Deze grootheid ΔU_{ref} wordt opgegeven in mV over het volledige stroombereik van de stabilisator.

Reverse dynamic impedance Z_{ka}
Een derde belangrijke specificatie is de '*reverse dynamic impedance*' Z_{ka}. Deze grootheid wordt gedefinieerd door:
$Z_{ka} = \Delta U_{ka} / \Delta I_k$
waarin:

- ΔU_{ka} de variatie van de uitgangsspanning is.
- ΔI_k de variatie van de uitgangsstroom.

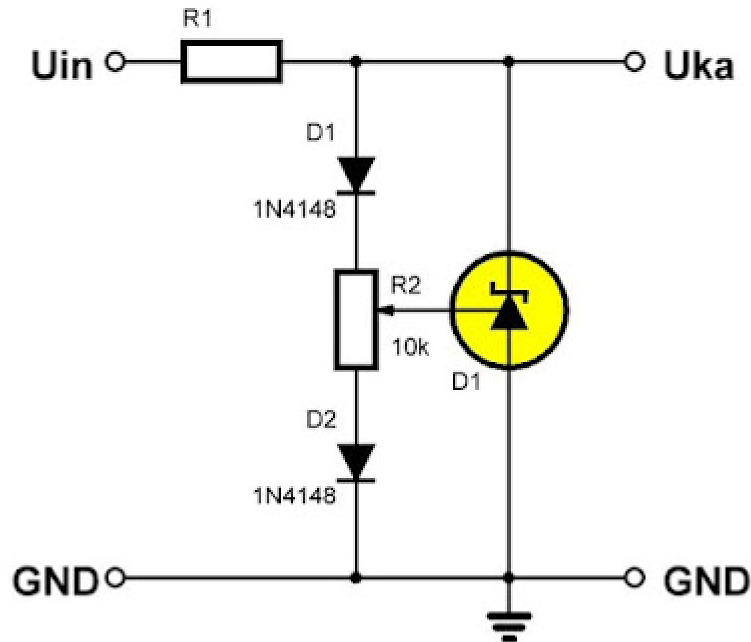
In de meeste gevallen wordt Z_{ka} gedefinieerd bij $U_{ka} = U_{ref}$ en bij de maximale waarde van ΔI_k.

Standaard schakeling
Een shunt stabilisator wordt toegepast in de standaard configuratie van de onderstaande figuur. In de linker tekening is de R-aansluiting rechtstreeks verbonden met de kathode en de uitgangsspanning U_{ka} is gelijk aan U_{ref}. Bij het rechter schema wordt de R-pen aangesloten op een spanningsdeler tussen kathode en anode en wordt de uitgangsspanning gegeven door:
$U_{ka} = U_{ref} \bullet [1 + (R1/R2)] + I_{ref} \bullet R1$
Omdat de waarde van I_{ref} niet exact bekend is moet u in de meeste gevallen de spanningsdeler R1/R2 vervangen door een instelpotentiometer.
De dynamische impedantie wordt bij het rechter schema gegeven door:
$Z_{ka} = Z'_{ka} \bullet [1 + R1/R2]$
waarbij Z'_{ka} gelijk is aan de gespecificeerde waarde voor $U_{ka} = U_{ref}$.



Basisschakelingen met shunt stabilisatoren. (© 2020 Jos Verstraten)

Temperatuurscoëficiënt
Shunt stabilisatoren hebben een bepaalde temperatuurscoëficiënt op de U_{ref}, waarvan de grootte afhankelijk is van de interne samenstelling van de referentiebron. U kunt de effecten van de temperatuur op de uitgangsspanning minimaliseren door gebruik te maken van het schema van de onderstaande figuur. Deze schakeling heeft alleen effect als de twee siliciumdioden dezelfde temperatuur hebben als de shunt stabilisator.



Compenseren van de temperatuurscoëficiënt. (© 2020 Jos Verstraten)

Leverbare shunt stabilisatoren

Op dit moment zijn er nog vijf shunt stabilisatoren goed leverbaar door de regulaire detailhandel. In het onderstaand lijstje vermelden wij de richtprijs anno mei 2020, zodat u een idee krijgt wat deze onderdelen kosten:

- LM336: € 0,78 (Conrad)
- LM385: € 0,35 (Conrad)
- TL430: €1,25 (Reichelt)
- TL431: € 0,11 (Reichelt)
- LM4040: € 2,14 (Reichelt)

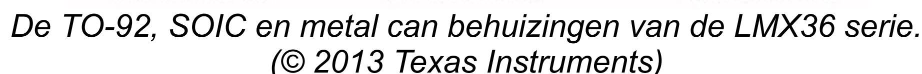
Bij de bekende Chinese postorderbedrijven betaalt u er aanmerkelijk minder voor, maar dan moet u meestal vijf of tien stuk bestellen. Om een voorbeeld te geven, bij AliExpress betaalt u € 1,98 (inclusief verzending) voor tien stuks LM385. Levertijd bedraagt wel tussen 30 en 50 dagen!

De LMX36 serie

Kennismaking
Deze serie bestaat uit zes exemplaren, leverbaar in de drie behuizingen die in de onderstaande figuur zijn voorgesteld:

- LM136-2.5
- LM136-5.0
- LM236-2.5
- LM236-5.0
- LM336-2.5
- LM336-5.0

De 136 is de nauwkeurigste versie, de 336 de minst nauwkeurige. Uiteraard geven de suffixen 2.5 en 5.0 de spanning aan die de schakelingen genereren met ADJ (R) verbonden aan K.



De TO-92, SOIC en metal can behuizingen van de LMX36 serie.
(© 2013 Texas Instruments)

De specificaties
De belangrijkste specificaties van deze IC's zijn, kort samengevat:

- **Uitgangsspanning LM136-2.5:** 2,440 V ~ 2,540 V
- **Uitgangsspanning LM136A-2.5:** 2,465 V ~ 2,515 V
- **Uitgangsspanning LM236-2.5:** 2,440 V ~ 2,540 V
- **Uitgangsspanning LM336B-2.5:** 2,440 V ~ 2,540 V
- **Uitgangsspanning LM336-2.5:** 2,390 V ~ 2,590 V
- **Uitgangsspanning LM136-5.0:** 4,9 V ~ 5,1 V
- **Uitgangsspanning LM136A-5.0:** 4,95 V ~ 5,05 V
- **Uitgangsspanning LM236-5.0:** 4,9 V ~ 5,1 V
- **Uitgangsspanning LM336B-5.0:** 4,9 V ~ 5,1 V
- **Uitgangsspanning LM336-5.0:** 4,8 V ~ 5,2 V
- **Minimale stroom:** 600 µA
- **Maximale stroom:** 15 mA
- **Reverse dynamic impedance:** 0,6 Ω min., 2,0 Ω max.
- **Afwijking tussen 0 °C en +70 °C:** 12 mV max.
- **Instelbereik:** ±1,0 V max.
- **Lange termijn stabiliteit:** 20 ppm max.

Zeer stabiele voeding met een LM336-5.0
In de onderstaande figuur is een nauwkeurige spanningsstabilisator voorgesteld met een zeer lage temperatuurscoëfficiënt. De LM317 is de eigenlijke stabilisator die een stroom kan leveren tot 1,5 A. De ADJ-ingang van dit IC wordt aangesloten op een schakelingetje rond een LM336-5.0. Met de instelpotentiometer van 10 kΩ regelt u de spanning over de weerstand R1 af op exact 6,25 V.

Zeer stabiele voeding met een LM336-5.0. (© 2013 Texas Instruments)

Lineaire weerstandsmeter met een LM336-5.0
In de onderstaande figuur wordt een LM336-5.0 toegepast in een weerstandsmeter met een

lineaire schaal. U kunt dus een analoge of digitale voltmeter op de uitgang aansluiten. De waarde van de onbekende weerstand R_x wordt omgezet in een gelijkspanning op de uitgang. De schaalfactor kunt u instellen met de draaischakelaar op vier standen:

- 1 kΩ per volt.
- 10 kΩ per volt.
- 100 kΩ per volt.
- 1 MΩ per volt.

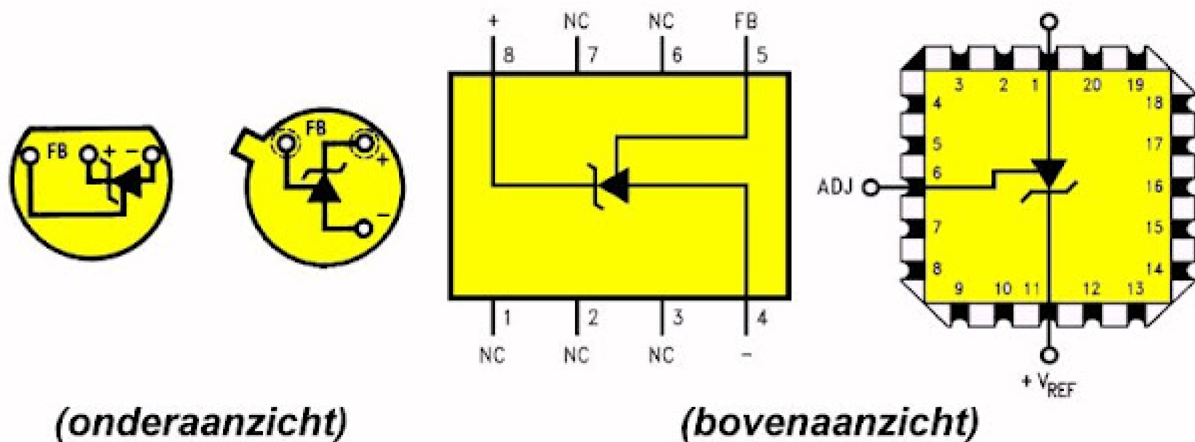
Met de instelpotentiometer van 10 kΩ kunt u de schaal ijken, dus bijvoorbeeld op een uitgangsspanning van 10,0 V bij een weerstand van 10,0 kΩ aan de ingang.

Een lineaire weerstandsmeter met een LM336-5.0. (© 2013 Texas Instruments)

De LMx85 serie

Kennismaking

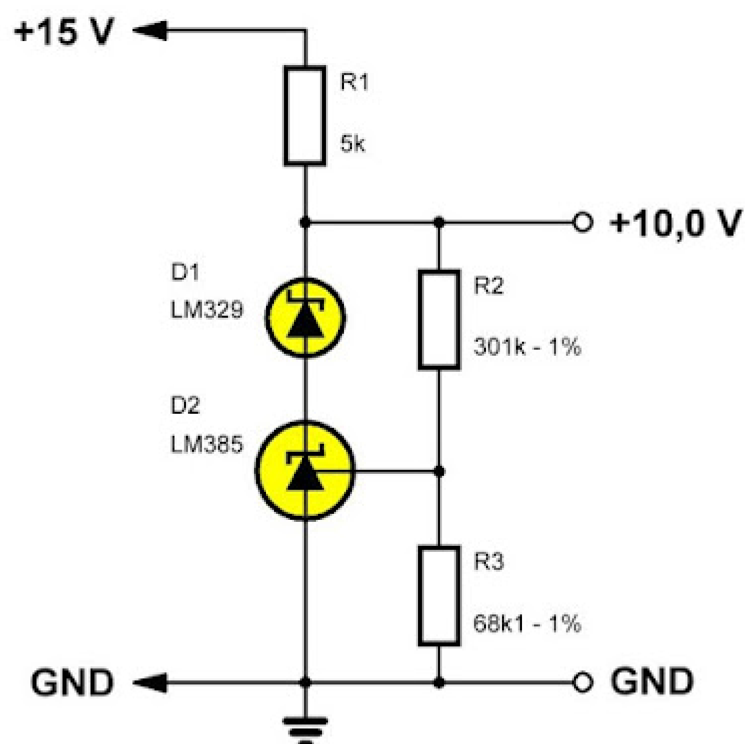
Deze serie bestaat uit drie exemplaren die leverbaar zijn in de in de onderstaande figuur voorgestelde vier behuizingen. Deze shunt stabilisatoren zijn intern voorzien van een bandgap referentie met een spanning van 1,240 V. Via de FB-ingang kunt u een terugkoppeling aanbrengen waardoor de uitgangsspanning kan stijgen tot maximaal 5,3 V. Deze serie wordt op de markt gebracht met de kreet '*Micropower*'. Misschien is dat terecht, want deze IC's werken al goed bij een stroom van slechts 10 µA. De maximale stroom die u door het IC kunt sturen bedraagt 20 mA.



De vier behuizingen van de LMx85 serie. (© 2013 Texas Instruments)

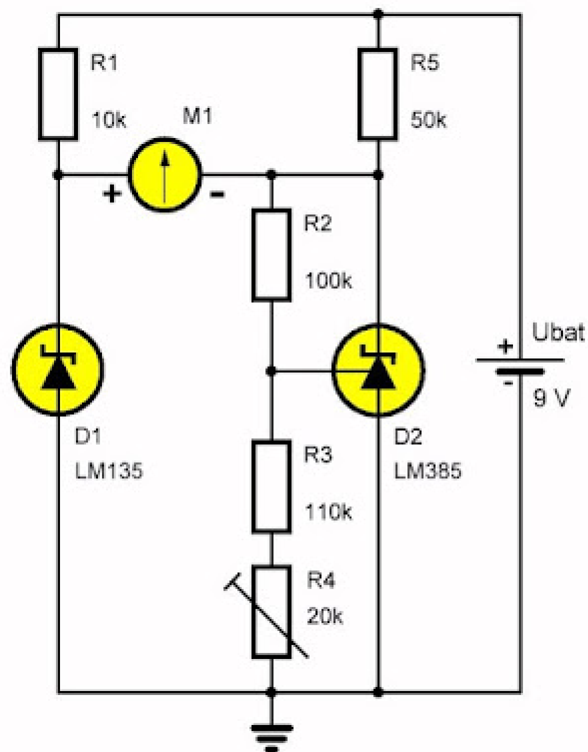
De specificaties
De belangrijkste specificaties van deze IC's zijn, kort samengevat:
- **Referentiespanning LM158:** 1,215 V ~ 1,255 V
- **Referentiespanning LM258:** 1,205 V ~ 1,270 V
- **Referentiespanning LM358:** 1,205 V ~ 1,270 V
- **Minimale stroom:** 10 µA
- **Maximale stroom:** 20 mA
- **Reverse dynamic impedance:** 0,3 Ω min., 1,0 Ω max.
- **Afwijking tussen 1 mA en 20 mA:** 25 mV max.
- **Instelbereik:** 1,24 V ~ 5,30 V
- **Lange termijn stabiliteit:** 20 ppm max.

Nauwkeurige 10 V referentie
In de onderstaande figuur is het schema getekend van een zeer nauwkeurige en stabiele referentiebron die een spanning van 10,00 V genereert. De LM329 is een temperatuurgecompenseerde spanningsreferentie met een uitgangsspanning van 6,9 V.



Een 10,0 V spanningsreferentie met een LM329 en een LM385.
(© 2020 Jos Verstraten)

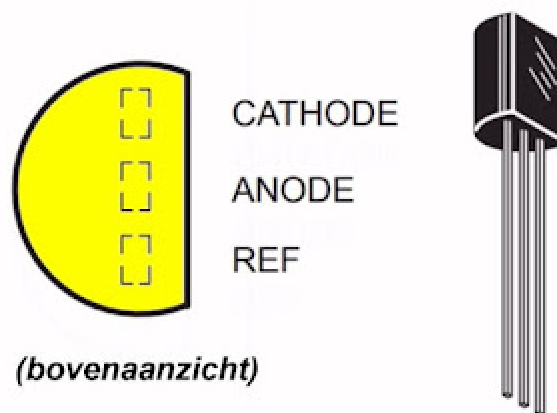
Lineaire thermometer
In de onderstaande figuur is een eenvoudige temperatuurmeter voorgesteld. Deze schakeling levert een uitgangsspanning van 10 mV/°C. U kunt bijvoorbeeld een analoge paneelmeter met een bereik van 1 V volle schaal gebruiken als aanwijsinstrument. Met de instelpotentiometer R4 van 20 kΩ regelt u de schakeling af.



Een schakeling van een analoge thermometer.
(© 2020 Jos Verstraten)

De TL430

Kennismaking
De TL430 is een shunt stabilisator met een ingebouwde spanningsreferentie van 2,75 V en een maximale stroomcapaciteit van 100 mA. De schakeling is ontworpen als vervanger van zenerdioden van 3,0 V tot 30,0 V en dat met veel betere specificaties. Dit IC wordt geleverd in drie uitvoeringen, namelijk TL430C, TL430I en TL430Y en in slechts één behuizing.



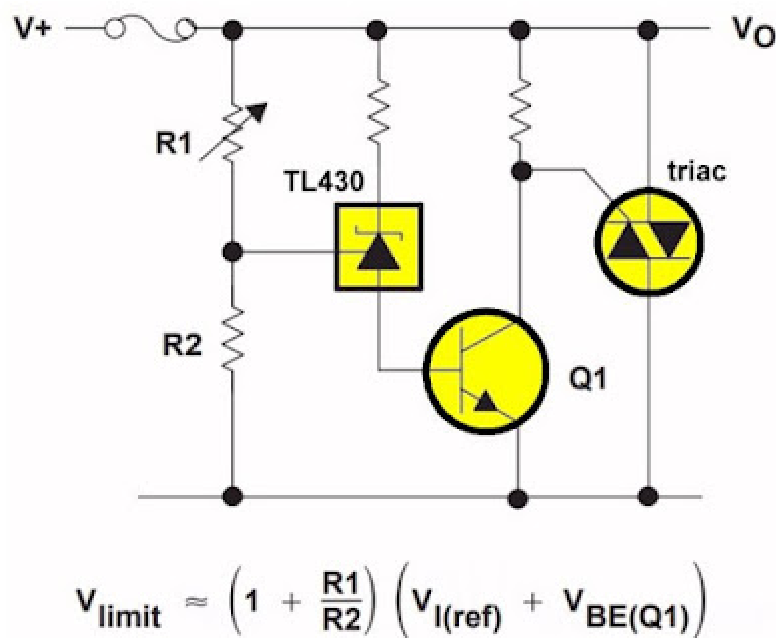
De behuizing van de TL430. (© 1995 Texas Instruments)

De specificaties

De belangrijkste specificaties van de TL430 zijn:

- **Referentiespanning TL430C:** 2,50 V ~ 3,0 V
- **Referentiespanning TL430I:** 2,60 V ~ 2,90 V
- **Referentiespanning TL430Y:** 2,50 V ~ 3,0 V
- **Minimale stroom:** 2 mA
- **Maximale stroom:** 100 mA
- **Reverse dynamic impedance:** 1,5 Ω min., 3,0 Ω max.

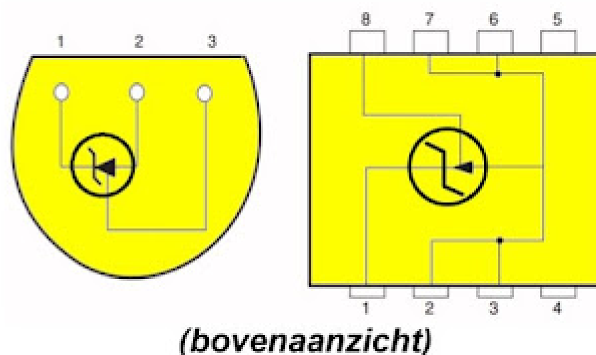
Een crowbar schakeling met een TL430
Een '*crowbar*' is letterlijk vertaald een koevoet. In de elektronica is een crowbar een schakeling die een andere schakeling beveiligt tegen een te hoge voedingsspanning. Als de voedingsspanning boven een bepaalde drempel komt zal de crowbar een zekering laten springen waardoor de te hoge voedingsspanning geen schade kan aanrichten. Shunt stabilisatoren zijn uitstekende onderdelen voor het opbouwen van zo'n crowbar. In de onderstaande afbeelding ziet u het schema rond een TL430.



Een crowbar schakeling met een TL430. (© 1995 Texas Instruments)

De TL431

Kennismaking
De voornaamste eigenschappen van de TL431 zijn de interne referentie van 2,5 V, de zeer lage dynamische weerstand van slechts 0,22 Ω en de zeer hoge maximale uitgangsspanning van 36 V. Deze shunt stabilisator is leverbaar in twee behuizingen, namelijk TO-92 en SO-8.



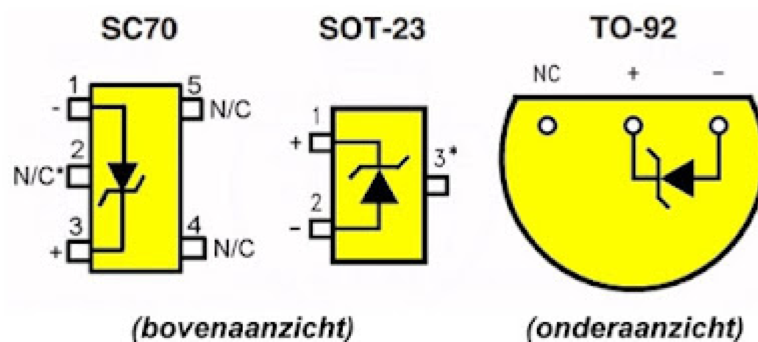
De behuizingen van de TL431. (© 2005 Texas Instruments)

De specificaties
De belangrijkste specificaties van de TL431 zijn:
- **Referentiespanning TL431C:** 2,423 V ~ 2,567 V
- **Referentiespanning TL431AC:** 2,453 V ~ 2,537 V
- **Referentiespanning TL431I:** 2,41 V ~ 2,58 V
- **Referentiespanning TL431AI:** 2,44 V ~ 2,55 V
- **Minimale stroom:** 0,5 mA
- **Maximale stroom:** 100 mA
- **Uitgangsspanning:** 36 V max.
- **Reverse dynamic impedance:** 0,22 Ω min., 0,5 Ω max.
- **Instelbereik:** 2,5 V ~ 36,0 V

De LM4040, vaste uitgangsspanning

Kennismaking
De in drie behuizingen leverbare LM4040 is een vrij nieuwe shunt stabilisator met superieure specificaties, die in een heleboel diverse versies en spanningen wordt aangeboden. Het voornaamste kenmerk is dat deze stabilisator geen R-ingang heeft en dus geleverd wordt met een constante, niet instelbare uitgangsspanning. Er zijn zeven verschillende interne referentiespanningen beschikbaar, die worden aangegeven door een suffix achter het typenummer:
- LM4040-2.0
- LM4040-2.5
- LM4040-3.0
- LM4040-4.1
- LM4040-5.0
- LM4040-8.2
- LM4040-10.0

De tolerantie op deze spanningen bedraagt slechts ±0,1 % en de ruis slechts 35 $\mu V_{effectief}$.

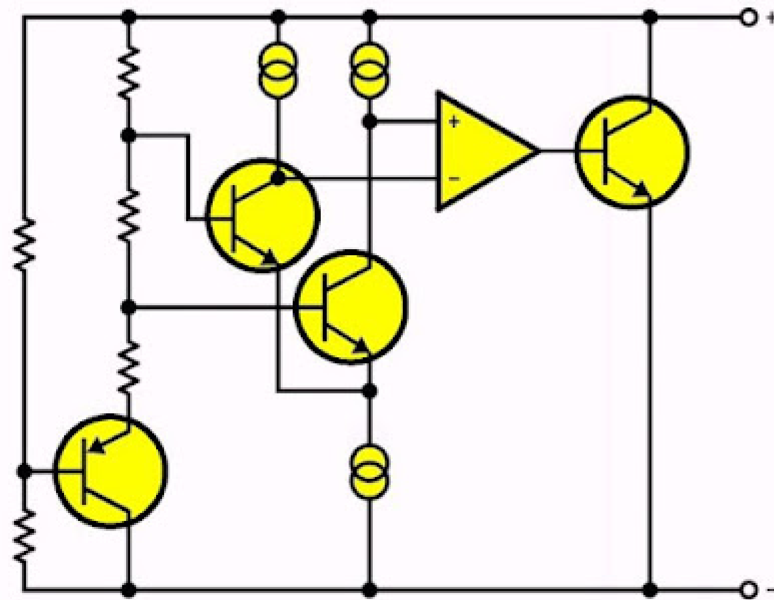


De drie behuizingen van de TL4040. (© 2002 NatSemi)

De specificaties
De belangrijkste specificaties van de TL4040 zijn:
- **Tolerantie op uitgangsspanning, suffix A:** ±0,1 % max.
- **Tolerantie op uitgangsspanning, suffix B:** ±0,2 % max.
- **Tolerantie op uitgangsspanning, suffix C:** ±0,5 % max.
- **Tolerantie op uitgangsspanning, suffix D:** ±1,0 % max.
- **Tolerantie op uitgangsspanning, suffix E:** ±2,0 % max.
- **Minimale stroom:** 100 µA
- **Maximale stroom:** 15 mA
- **Reverse dynamic impedance:** 0,9 Ω min., 1,1 Ω max.
- **Temperatuurscoëfficiënt, suffix C:** 100 ppm/°C max.
- **Temperatuurscoëfficiënt, suffix D:** 150 ppm/°C max.

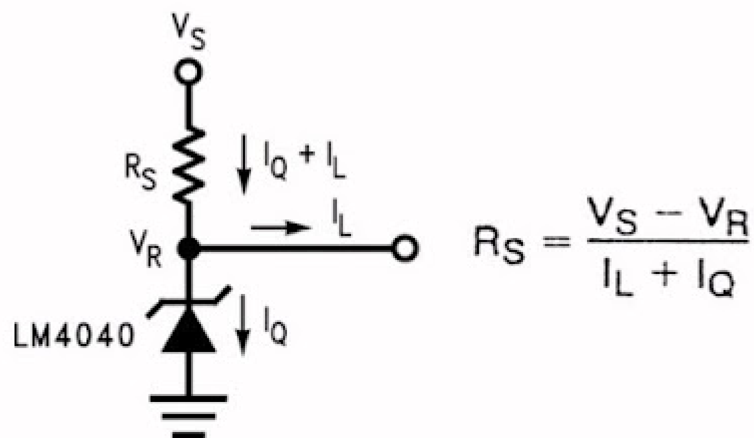
- **Temperatuurscoëfficiënt, suffix E**: 150 ppm/°C max.
- **Lange termijn stabiliteit:** 120 ppm max

Intern schema van de LM4040
In de onderstaande figuur is het intern schema van deze shunt stabilisator voorgesteld.



Intern schema van de TL4040. (© 2002 NatSemi)

Toepassingsschema van de LM4040
In de onderstaande figuur is getekend hoe u de LM4040 via een serieweerstand op een positieve voedingsspanning moet aansluiten.



Het instellen van de TL4040 met een serieweerstand. (© 2002 NatSemi)